

学校编码: 10384

学号: 200428021

分类号\_\_密级\_\_

UDC\_\_

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

中国五声性调式和声自动配置的研究

Research on Automatic Harmonization for Melody with  
Chinese 5-tone Modal Harmony

贺志强

指导教师姓名: 冯寅 副教授

专 业 名 称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2007 年 5 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: \_\_

评阅人: \_\_

2007 年 5 月

---

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

---

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：                    日期：      年      月      日

导师签名：                    日期：      年      月      日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘 要

算法作曲是人工智能领域中一个研究方向，从作曲家的角度去模拟为旋律乐曲配伴奏，作为一门交叉学科，具有深远的理论研究价值。本文正是从这一点出发，以中国民族风格化的五声性调式和声理论为依据，建立了中国民歌（旋律）配钢琴伴奏的 HMM 模型。这个模型从一定程度上模拟了作曲家对旋律配伴奏的思维活动过程。

我们首先通过收集中国民族五声性调式中各种调式的和弦，建立了调式和弦字典库，同时将由作曲家石夫编集的 80 余首带有钢琴伴奏的中国西部民歌谱例作为训练数据集合，分别建立了旋律配和声以及旋律音型配置相应钢琴伴奏音型的隐马尔可夫模型。前者以一拍或一小节（可选择）的旋律片段中的骨干音序列为观察值，而旋律片段相对应的和弦标识为隐含状态。后者以确定的旋律片段中的音符时值序列为观察值，对应的钢琴伴奏之伴奏音型为隐含状态。

在训练过程及为旋律配伴奏过程中，我们还考虑了曲式（乐曲的形式结构）分析策略。制定了一种分割乐曲（切分样本乐曲）成若干乐句、乐段的方法。并在此基础上，分别以拍子或小节作为和声功能的分析及配置的基本单位。即，对切分后的乐曲，我们从和弦字典库中为乐曲中的和弦配置基本单位选择某一和弦作为其特征和弦，然后我们利用建立的模型对样本乐曲进行学习、训练。最后，考虑到旋律乐曲的整体性，在训练后的结果基础上，我们使用 Viterbi 算法为任一输入的旋律配出以中国民族风格化的五声性调式和声为基础的钢琴伴奏谱。

**关键词：** 算法作曲；隐 Markov 模型；Viterbi 算法

厦门大学博硕士论文摘要库

## ABSTRACT

As one of the branches of Artificial Intelligence , Algorithmic Composition simulates the composers to harmonize the melody music. And as a cross-subject, Algorithmic Composition is worthy of being researched. Based on Chinese five-tone Modal harmonic chord theory of music theory, this dissertation describes a chorale harmonization system which uses Hidden Markov Models. To some extent , this models simulates the composers to harmonize.

Firstly, we collect some chords of Chinese five-tone Modal harmonic chord and build a chord library for accompaniment, and collect more than 80 Chinese west-side folksongs with piano accompaniment used as training data set. And then, Two Hidden Markov Modals respectively for harmonizing a melody and deploying piano accompaniment figures for the melody figures are built up. In the first model, the observation value of the model is a core tone sequence in a musical piece with variable length and the hidden state is the chord label about the musical piece. In the second model, the observation value is a tone duration sequence in the musical piece and the hidden state is the piano accompaniment figures corresponding to the musical piece.

when training or accompanying, we also take into account the analysis strategy for music—the struct of music. We set up a method which we use to syncopate the music into many phrases and periods. Based on this, we take the beat or bar as the auto unit to analyze the harmonic fuction and accompany the melody. At the last, in view of the music integration, based on the training result, the Viterbi Algorithm is used to generate a piano accompaniment score with nationality styles based on Chinese 5-tone Modal Harmony for an input melody .

**Keywords:** Algorithmic Composition; Hidden Markov Models; Viterbi Algorithmic

厦门大学博硕士论文摘要库



## 目录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 旋律配调式和声概述	1
1.2 算法作曲定义	1
<b>第二章 相关研究概况</b>	<b>5</b>
2.1 基于规则的知识库系统	5
2.2 遗传算法	5
2.3 序列预测	6
2.4 神经网络	7
2.5 其他方法	8
2.6 主要创新点	9
<b>第三章 隐 Markov 模型</b>	<b>11</b>
3.1 隐 Markov 模型简介	11
3.1.1 HMM 的基本概念	11
3.1.2 HMM 的定义	12
3.2 HMM 的三个基本问题	14
3.3 HMM 基本算法	15
3.3.1 前向—后向算法(概率估值)	15
3.3.2 Viterbi 算法	18
3.4 HMM 的各种结构	20
3.5 拓扑形式	22
<b>第四章 改进的隐 Markov 模型</b>	<b>25</b>
4.1 音符的形式描述	25
4.2 和弦的表达	25
4.3 旋律 $M_i$ 的 $k$ -MP 及特征和弦 $H_i$ 及和弦特征	26
4.4 音型 figure	28
4.5 旋律配和声及配置伴奏音型的隐马尔可夫模型	29
4.5.1 收束乐段	29

4.5.2 和声的隐马尔可夫模型.....	29
4.5.3 伴奏音型的隐马尔可夫模型.....	30
4.6 五声性调式旋律的钢琴伴奏自动配置模型.....	32
4.6.1 HMM 参量的训练.....	32
4.7 钢琴伴奏自动配置以及 Viterbi 算法的应用.....	37
<b>第五章 系统及实验结果 .....</b>	<b>41</b>
5.1 系统说明.....	41
5.1.1 音乐时值.....	41
5.1.2 音乐符号描述形式.....	41
5.1.3 样本乐曲及旋律乐曲组织形式.....	42
5.1.4 收束乐段.....	43
5.1.5 乐曲切分.....	44
5.1.6 划分后的小节程序组织形式.....	44
5.1.7 K 声调式音阶特征.....	44
5.1.8 音型织体 Figure .....	46
5.1.9 计算和弦序列.....	46
5.2 训练过程 .....	47
5.3 实验结果 .....	50
<b>第六章 总结 .....</b>	<b>51</b>
<b>附录一 各种调式和弦字典库 .....</b>	<b>53</b>
<b>附录二 算法配伴奏的实验结果 .....</b>	<b>55</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>65</b>
<b>硕士期间所参与的科研课题与发表论文 .....</b>	<b>69</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>71</b>

## Content

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Overview of Harmonization .....	1
1.2 Definition of Algorithmic Composition .....	1
<b>Chapter 2 Related Research .....</b>	<b>5</b>
2.1 Constraint-Based Systems .....	5
2.2 Genetic Algorithms.....	5
2.3 Sequence Prediction .....	6
2.4 Neural Network .....	7
2.5 Others .....	8
2.6 Innovations.....	9
<b>Chapter 3 Hidden Markov Model.....</b>	<b>11</b>
3.1 Introduction of HMM .....	11
3.1.1 Concepts of HMM .....	11
3.1.2 Definition of HMM.....	12
3.2 Three Key Problems of HMM.....	14
3.3 Basic Algorithms of HMM.....	15
3.3.1 Forward-Backward Algorithm.....	15
3.2.2 Viterbi Algorithm .....	18
3.4 Structures of HMM .....	20
3.5 The Topology of HMM .....	22
<b>Chapter 4 Modified HMM .....</b>	<b>25</b>
4.1 Description of Note .....	25
4.2 Description of Chord.....	25
4.3 Description of KMP.....	26
4.4 Note Figure.....	28
4.5 Two Hidden Markov Models.....	29
4.5.1 Candence.....	29
4.5.2 The HMM for Harmonisation.....	29
4.5.3 The HMM for Accompaniment .....	30
4.6 The Model of Accompaniment Chinese Five-Tone Model.....	32
4.6.1 The Parameters of HMM .....	32

4.7 Accompaniment and the Application of Viterbi Algorithm.....	37
<b>Chapter 5 System and Results .....</b>	<b>41</b>
5.1 Description of System.....	41
5.1.1 Note Duration.....	41
5.1.2 Note Description .....	41
5.1.3 Note Structure In Program .....	42
5.1.4 Candence.....	43
5.1.5 Music Syncopate.....	44
5.1.6 Syncopated Bar Structure In Program .....	44
5.1.7 KMP.....	44
5.1.8 Note Figure .....	46
5.1.9 Computing Chord.....	46
5.2 Training Process.....	47
5.3 Results of Experiment .....	50
<b>Chpater 6 Conclusion .....</b>	<b>51</b>
<b>Appendix 一 The Library of Chinese Five-Tone Chord .....</b>	<b>53</b>
<b>Appendix 二 Results of Experiment.....</b>	<b>55</b>
<b>Reference.....</b>	<b>65</b>
<b>Publications .....</b>	<b>69</b>
<b>Acknowledge.....</b>	<b>71</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 旋律配调式和声概述

多声部音乐（下面简称多声音乐）可分为主调音乐和复调音乐。主调音乐是指包含唯一的旋律声部的多声音乐。而除旋律声部的其他声部，主要起衬托和丰富旋律声部的作用。复调音乐是指几个具有独立意义的旋律性声部，在运动中同时相结合在一起，构成丰富多样的织体形式，这种各自具有独立旋律意义的多声部音乐称为复调音乐。所谓织体，是指乐曲中声部的组合方式。有关多声音乐的创作，主要涉及两方面作曲技术，那就是和声与对位。

自中世纪以来，西方就出现了许多多声音乐。作曲家在创作之前，都需预先精心规划，以创作出复杂的多声音乐。到了18世纪，就形成了有关音符在纵（多音同时发声）、横（下一音符的走势）两方向如何结合的规则体系，即所谓的和声学。在基础和声学中，这种同时发生的多音的相互关系，称为和声。中国的民间及各民族音乐，也不只是单声部的。在实际的民间、民族音乐活动中，无论是民歌、戏曲、曲艺音乐，还是器乐、歌舞音乐，都广泛地存在着多声音乐形式<sup>[1]</sup>。然而，中国民间及各民族多声音乐，没有什么完整的和声体系。

目前，虽然出现了不少阐述中国民族风格化的五声性调式和声理论的书籍和论文<sup>[1~5]</sup>，但它们似乎不及西方传统和声理论那样系统化。在一个没有充分系统化的中国近代五声性调式和声系统的基础上，构建相关的调式和声规则系统是相当困难的。用统计学的方法来分析古典以及近、现代音乐的和声结构是当今音乐分析的计算模型研究中的一种有效的手段<sup>[6]</sup>。

### 1.2 算法作曲定义

算法作曲(Algorithmic Composition)，又称为自动作曲(Automated Composition)，是指用某种逻辑过程来控制音乐的生成。人在算法作曲中扮演着“立法者”的角色，完成逻辑过程的设定后，尽可能少地干预音乐的生长，让计

计算机来控制完成音乐作品。当然，该过程的规则是由人来制定的，由此而生成的音乐作品的艺术趣味，取决于作曲家在创造“音乐模块”与制定规则时的想象力和控制力。算法作曲是试图使用某个形式化的过程使人（或作曲家）在利用计算机进行音乐创作时的介入程度达到最小的研究（Alpern, 1995）<sup>[7]</sup>。

如果我们宽泛地认定算法作曲是某种模式化作曲概念在计算机上的延伸，那么，在计算机诞生以前，模式化作曲就已经是常用的音乐创作方法之一。早在14世纪，经文歌中男高音声部常使用的等节奏(isorhythmic)就具有模式化作曲的意义。

此外，我们熟悉的许多结构形式如卡农、赋格，和许多发展手法如倒影、逆行、模进等，也具有算法作曲的特征。算法作曲的特征还体现在随机音乐的某些实现方式中。作曲家完成不同的音乐模块后，由演奏家掷骰子决定模块的演奏次序。最著名的例子是莫扎特的圆舞曲《音乐骰子游戏》，他创作了176小节音乐，然后将小节号排列为两个特别的矩阵图，用掷骰子的方式来决定演奏的次序。

约翰·凯奇在作品《Reunion》中，将演奏的选择交给两位下象棋的选手，他们在具有图像感应功能的棋盘上每走一步，都会触发不同的声音，这样，每盘棋都是这些声音材料的一次新的重组。此时，音乐生成的逻辑取决于棋盘上两军对抗的风云变幻。

在音乐思维中，模式化的过程是自然存在的。例如，在听音乐的时候，我们一方面沉浸在音响带给我们的新奇刺激之中，而另一方面，我们又不断地产生对音响的期待，构架对音乐过程的假设。期待与假设的基础就是所有储存在听众脑海中的已有模式。作曲家们早就了解，音乐过程中的某些要素是可以用符号系统的“逻辑表达式”来描述的。

虽然，当我们提及算法作曲时，总是和计算机音乐相联系。实际上，使用常规的作曲手段也能运用算法作曲的观念进行创作。不过，在计算机上运用这一方法更为简便、快捷。当我们将一定的算法输入计算机，它就能以此为依据，不断生成音乐数据，完成作品的创作。

近半个世纪以来，在计算机上实现算法作曲的途径非常多。但从根本上来看，

所有的方法都能归于两种基本类型:1. 用特定的算法控制声音产生与变化的过程, 这种方法直接产生音响结果。2. 用特定的算法控制音符的产生与变化, 这种方法生成乐谱, 然后利用AUDI设备或演奏家的演奏来获得音响结果。

算法作曲所要面对的主要问题和传统作曲方式并无区别, 都是要考虑如何构成音乐的核心材料, 以及如何将核心材料变形发展。而此类问题的表达方式又各不一样:1. 以多种音乐基本要素的综合形态为核心, 首先构成短小的动机或主题, 然后加以发展。2. 以乐音关系为核心, 用特定的音列或音集(包括特定的音程特性)作为核心材料(不一定构成性格鲜明的动机或主题), 控制乐音的运动。3. 以发展逻辑为核心, 任何局部都不具有核心的意义, 只有通过音乐的整体发展过程才能揭示出来。第一和第二种方式在传统创作过程中常见, 而在计算机音乐中, 则第二和第三种方式更容易被计算机所“理解”。

在计算机上实现算法作曲, 构成核心材料并不困难。第一, 我们可以利用ITIDI键盘, 直接输入所需要的乐音数据。第二, 我们也可以用随机数发生器任意生成数据, 然后根据一定的模式, 选择所需要的数据, 构成核心音集、音序、音列或节奏模式。问题在于, 我们如何让计算机控制音乐发展的过程。

构成多种多样的变化形态, 是计算机的特长。在这方面, 人都要自愧不如。在一定的范围内, 计算机几乎可以穷尽所有可能的变化形态。如何恰当地选择变化形态, 构成有意味、有审美价值的音乐过程, 却是计算机的一大难题。虽然选择的困难对于任何从事音乐创作的人来说, 也同样如影相随, 难以摆脱。可人总能在一个模糊的范围内, 把问题交给“感觉”去解决。计算机没有“感觉”, 人所可能运用的某些控制因素, 如情绪的、美学的、情节的等, 都不可能作为计算机构建音乐结构的基础。它所能遵循的就是严密的逻辑与规律。分层结构就是算法作曲中常常遵循的一个结构原则。

无论是东方音乐还是西方音乐均有其一定程度的形式化基础。有关旋律创作的形式化技术可以追溯到11世纪。当时, 有一位名叫Guido d'Arezzo的人构造了一种可为一本宗教书籍中的每个元音设计不同音高的模型。15世纪的时候, 节奏模式就被系统地使用在具有均匀节奏的圣歌中<sup>[8]</sup>。在文艺复兴时期及巴洛克(Baroque)时代, 作曲家为旋律的对位发展了严格的规则。例如,

复调音乐的创作几乎完全可通过诸如像对给定的主题动机（一个音乐小片段）实施倒影，主题延长，缩减这样系统化的过程来演绎。

探索算法作曲的问题，可以一方面让我们了解和模拟作曲家在从事音乐创作这一特定过程中他（她）的思维方式，另一方面，基于算法作曲的研究技术而开发的作曲程序，其所创作出不同形式的音乐作品，同样可以娱乐于人。由著名的算法作曲家，音乐教授 David Cope（2001）<sup>[9]</sup>设计和开发的作曲程序能够继承已故作曲家的风格并创作出同样风格的音乐作品。这些作品中有类巴赫的创意曲，器乐协奏曲和组曲。有类莫扎特的奏鸣曲以及类肖邦的夜曲。大家可以从网上很容易地下载到这些由作曲程序创作出的或辅助作曲家创作出的音乐片段的 MP3<sup>[10]</sup>。当您欣赏了这些音乐片段之后，或许会觉得那些已故的音乐大师似乎又重返人间，继续为人类寻求欢乐和慰藉。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库